

대구의 토지이용도 유형에 따른 여름철 도시열섬포텐셜 추정연구

안 지 숙 · 김 해 동 · 김 상 우*
계명대학교 지구환경보전과, *국립수산과학원 해양수산부
(2006년 7월 3일 접수; 2006년 12월 31일 채택)

Estimation of Urban Heat Island Potential Based on Land-Use Type in Summertime of Daegu

Ji-Suk Ahn, Hae-Dong Kim and Sang-Woo Kim*

Department of Earth Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

*Ocean Research Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea

(Manuscript received 3 July, 2006; accepted 31 December, 2006)

This study aims to estimate a urban heat island potential distribution based on the land-use types using Landsat TM(1100 LST August 2004) and AWS data in Daegu. The heat island potential is defined as a difference between surface temperature and air-temperature at each place. The study area was selected as about 900km² square including Daegu metropolitan area. Land-use data obtained by dividing all of Daegu metropolitan area into 1-km-square three types of maps were prepared in the 1960s, 1970s and 2000s respectively. Land-use types were classified into 5 categories. Forest and farm lands have been reduced at a wide range during 40 years. Most of those changed into urban area.

The heat island potential distribution presented a striking contrasts according to land-use types. For example, the heat island potential of urban area was higher than 10°C in comparison to those of water or paddy rice areas.

Key Words : Heat island potential, Landsat TM, Land-use

1. 서 론

최근 도시화의 진행에 수반되어 녹지와 농지 면적의 감소 및 에너지 소비의 증가로 인하여 도시기온이 상승하고, 도시의 고밀도화와 고층화에 따른 지표면 부근의 풍속 저하로 발생하는 도시지역의 여름철 야의 열적 환경의 악화가 큰 사회적 문제로 대두되고 있다¹⁾. 도시기온의 상승에는 장·단파 복사과정의 변화, 포장도로와 건물의 열저장용량의 증가, 수변면적과 식물의 감소에 따른 증발산 기능의 저하 및 인공 배출열의 증가 등의 여러 요인이 복합적으로 관여된 결과이다²⁾. 그렇지만 우리나라의 대도시와 같이 고밀도형 도시에서 나타나는 도시승온화의 원인으로는 겨울철에는 인공 배출열의 증가, 여름철에는 지표면의 포장화에 주로 기인하

는 것으로 알려져 있다^{3~5)}. 특히 여름철 야간 도시지역의 열대야발생의 주요원인은 아스팔트도로와 콘크리트 구조물의 큰 열저장효과에 있는 것으로 알려져 있다⁶⁾.

맑은 여름철 낮에 위성이나 항공기로 관측된 열영상자료를 이용하여 아스팔트도로나 콘크리트 구조물로 덮여있는 도심지역과 삼림 혹은 수변 지대로 이루어진 곳의 지표면온도를 비교하여 보면 열적 분포가 현저하게 다르다는 것을 확인할 수 있다. 수변지역, 삼림 및 논을 포함한 농경지의 표면온도는 기온과 거의 같거나 오히려 약간 낮다. 그러나 인구가 집중되어 있는 시가지와 개발이 진척되고 있는 교외의 단지를 살펴보면, 표면온도는 기온보다도 20°C 이상이나 높게 형성되어 있음을 볼 수 있다⁷⁾. 이러한 열 영상자료를 통하여 도시지역을 덮고 있는 아스팔트와 콘크리트로 이루어져 있는 인공구조물의 존재가 도시열섬의 형성과 밀접하게 연계되어 있다는 사실을 짐작할 수 있다⁸⁾. 따라

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Department of Earth Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

서 여름철 도시의 열섬완화를 위해서는 토지이용에 따른 지표면온도상승의 현황을 파악하고, 이를 억제할 수 있는 대책을 수립하여 실천하여야 한다.

토지이용도가 도시열섬화에 미칠 수 있는 가능성을 정량적으로 평가하기 위하여 일본의 동경공업대학에서는 지난 1994년에 열섬포텐셜(Heat Island Potential : HIP)이라는 개념을 제안한 바 있다⁹⁾. 열섬포텐셜이란 주어진 시간동안에 나타나는 기온과 지표면온도의 평균적인 차이로 정의되는데, 개발행위의 대상이 되는 토지에 대해서 지표면의 변화가 주위의 온도에 미치는 영향을 평가하는 하나의 지표로서 이용되고 있다¹⁰⁾.

최근에 이르기까지 우리나라를 포함한 전 세계의 도시개발은 기능성과 효율이 우선되어 도시기후에 대한 배려가 이루어지지 못하였다. 오히려 쾌적한 실내 환경을 확보(냉난방으로 인한 과도한 인공열의 방출)하기 위해서 이를 외면해 왔다고 할 수 있을 것이다^{11~13)}. 그러나 최근 일본에서 연구된 결과에 의하면 여름철 기온 1℃의 상승은 약 6%의 추가적 전력사용을 유발한다고 한다¹⁴⁾. 도시공간의 무분별한 사용은 도시열섬화를 유발하고, 도시열섬화는 도시민의 냉방용 에너지사용을 유발하여 도시열섬화를 더욱 악화시키는 악순환을 가져오게 된다.

본 연구에서는 Landsat TM자료를 이용하여 대구지역의 지표면 온도를 추정하고, 대구지역에 설치한 자동기상관측장치로부터 얻은 기온자료를 이용하여 토지이용도에 따른 열섬포텐셜을 산출하였다. 아울러 대구의 최근 40년간에 이루어진 토지이용도의 변화를 조사하여 도시화의 진전에 따른 열섬포텐셜의 변화효과를 추정하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구자료

대구지역의 장기적 토지이용도 변화를 조사하기 위하여 연도별 지형도자료를 이용하였다. 토지이용도에 따른 지표면온도는 2004년 8월 8일 1100LST 경에 관측된 Landsat TM 자료를 사용하여 계산하였다. 주간에 지표면에서 대기 중으로 운반되는 현열에 의한 열섬포텐셜 추정을 위하여 대구지방기상대 및 대구지역에 설치된 자동기상관측망(Fig. 1)의 기온자료를 이용하였다. 이날 대구기상대에서 관측된 오전 11시의 기온은 32.2℃, 풍속은 2.4m/s로 나타났다. 이는 같은 시간대에 8개 자동기상관측장치에서 얻어진 기온평균값인 31.1℃보다 약간 높았다. 토지이용도별 열섬포텐셜을 계산함에 있어서 필요한 기온은 각각의 토지이용 현황에 가장 인

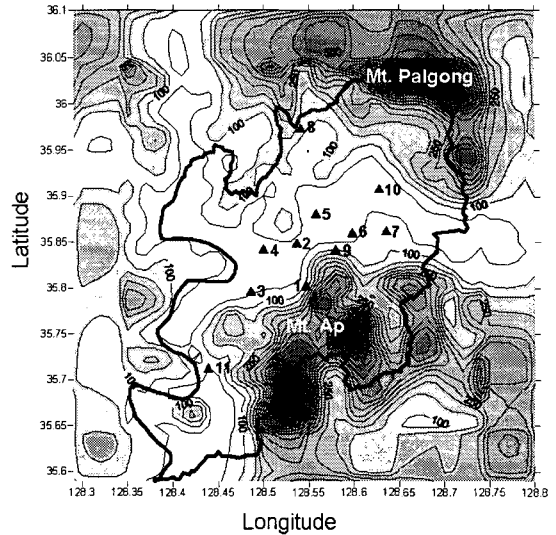


Fig. 1. Location of AWS in Daegu. The thick solid-line shows boundary of Daegu. The numbers are index of sites: 1. Dowon, 2. Gamsam, 3. Hwawon, 4. Keimyung, 5. Pyungri, 6. Sadebugo, 7. Suseong, 8. Chilgok, 9. Namgu, 10. Daegu weather station.

접해 있는 자동기상관측장치에서 얻어진 기온자료를 이용하였다. 예로서, 산지는 앞산과 팔공산에 인접한 도원중학교와 칠곡의 평균값 31.7℃, 인공구조물로 포장된 지역은 사대부고와 감삼중학교의 30.9℃, 농경지와 수변지역은 화원여고의 31℃자료를 이용하였다. 또한 토지이용도에 따른 지표면 온도와 열섬포텐셜은 아래의 방법으로 계산하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 토지이용도

대구지역의 토지이용도는 국토지리정보원(구. 국립건설연구소)의 지도를 이용하여 1963년, 1975년 및 2002년에 대하여 지표면 상태를 수변지역, 혼합림지역, 밭, 논, 도시화지역 등 5개 종류로 나누어 1km×1km 격자간격으로 지표면 상태를 조사하였다.

2.2.2. 지표면 온도

본 연구에서 지표면 온도산정은 Landsat TM 영상 자료의 열적외 밴드인 Band6을 이용하였고, DN(Digital Number) 값으로부터 구해진 복사휘도 값을 NASA에서 제시한 지표면 온도 계산법을 적용하였다.

영상자료의 복사휘도 값은 Chander과 Markham¹⁵⁾이 제시한 식(1)을 이용하였다.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) * (Q_{calmax} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

- L_λ : 분광복사휘도 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- Q_{cal} : DN단위로 정량화된 복사에너지
- Q_{calmin} : DN단위로 정량화된 최소복사에너지
- Q_{calmax} : DN단위로 정량화된 최대복사에너지
- $LMIN_\lambda$: Q_{calmin} 에서 분광복사 에너지 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- $LMAX_\lambda$: Q_{calmax} 에서 분광복사 에너지 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

또한 위(1)식은 다음 식(2)와 같은 선형식으로 표현될 수 있다.

$$L_\lambda = G_{rescale} * Q_{cal} + B_{rescale} \quad (2)$$

여기서 $G_{rescale} = \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{calmax}}$ unit of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
 $B_{rescale} = LMIN_\lambda$ unit of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

또한, Landsat TM Band6의 $LMAX_\lambda$, $LMIN_\lambda$, $G_{rescale}$ 및 $B_{rescale}$ 의 계산 값은 Table1과 같다.

Table 1. Landsat TM spectral radiance, postcalibration dynamic ranges

Band	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378

복사휘도를 이용한 지표면 온도 계산은 식 (3)과 같다.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

- T : 절대온도(Kelvin)
- $K1$: 보정상수 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- $K2$: 보정상수 (Kelvin)
- L_λ : 복사휘도

여기서 $K1$ 과 $K2$ 는 보정상수로 값은 Table2에 나타내었다.

2.2.3. 열섬포텐셜

지표와 대기간의 현열 교환량으로 산정하는 열섬포텐셜(HIP; Heat Island Potential)은 도시의 기온

Table 2. Landsat TM thermal band calibration constants

Constant	$K1$	$K2$
Unit	$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$	Kelvin
Landsat-5 TM	607.76	1260.56

에 대해서 도시구조의 동질성이 인정되는 지역이 갖는 잠재적인 지면온도와의 차이로 표현한 지표이다. 주어진 지역의 지표에서 대기로 운반되는 단위 시간, 단위면적당의 현열속(sensible heat flux)은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q = \frac{\int_{\text{전지표면}} \alpha cs (T_s - (T_a + T_a')) dS}{Sd} \quad (4)$$

- Q : 지표에서 대기로의 단위시간, 단위면적당의 현열속 (W/m^2)
- αcs : 미세 영역에 있어서의 국소적 대류열전달율 ($W/(m^2 K)$)
- T_s : 미소면적의 지표면온도(K)
- T_a : 도시 canopy 층 내부의 기온 평균치(K)
- T_a' : 도시 canopy 층 내의 주어진 지점의 기온과 층 내부의 기온평균치와의 차이(K)
- Sd : 대상영역의 수평면 투영면적(m^2)

위의 식으로 현열 속을 구하기 위해서는, 대류열전달율 및 주어진 지역의 지표면온도와 기온과의 온도차를 구하여야 하는데, 계산을 단순화하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였는데, 이는 일반적으로 받아들여지는 것이다.

① 도시 canopy 층 내 기온의 공간분포는, 관측에 의하면 일반적으로는 수 $^\circ C$ 의 범위에 있다. 그러나 표면온도분포는 수 십도에 이른다. 이 때문에, 제 1근사로, 도시 canopy 층 내부의 기온의 공간분포는 무시할 수 있는 것으로 간주한다.

② 열섬현상이 현저하게 되는 약풍 조건 하에서는, 결과적으로 지표면에 있어서 대류열전도율의 공간분포는 작다. 이 때문에 대류열전도율은 도시 canopy층의 상층부의 함수로 주고, 그 공간분포는 고려하지 않는다.

이상을 근거로 하여, 다음 식으로 구해지는 값을 “도시의 전지표면으로부터의 대류열전달 즉, 현열에 의한 열섬포텐셜” 이라고 정의한다. 이하에서는 식(5)와 같이 HIP라고 나타내었다.

$$HIP = \frac{\int_{\text{전지표면}} (T_s - T_a) dS}{Sd} \quad (5)$$

이 수식을 이용하여, 다양한 토지이용도에 따른 열섬포텐셜을 계산하였다.

3. 결 과

3.1. 대구지역의 장기적 토지이용도 변화 경향
 대구지역의 토지이용도의 장기변화는 국토지리정보원(구. 국립건설연구소)의 지도를 이용하여 1963

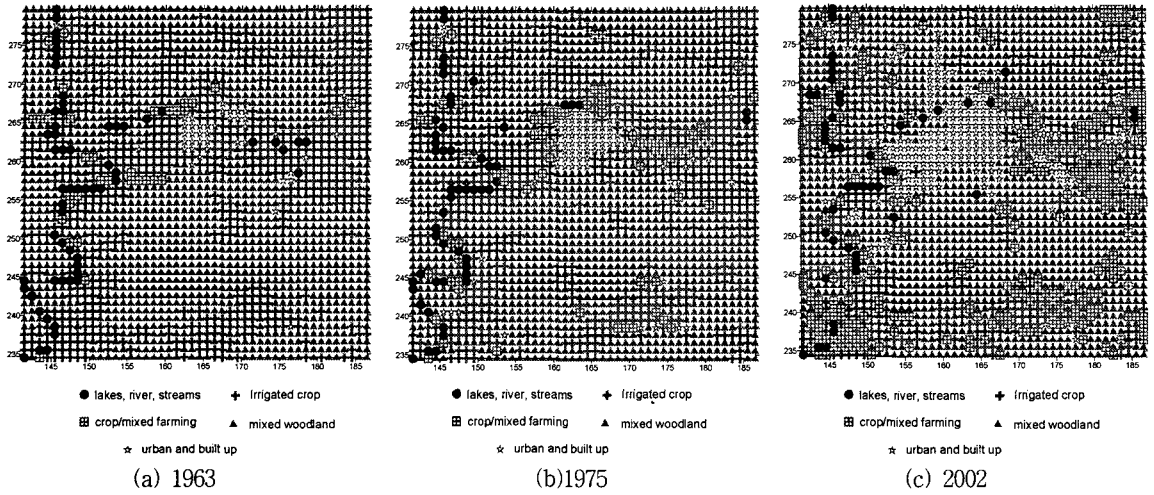


Fig. 2. Land-use change between in circa 1963(a), 1975(b) and in circa 2002(c).

년, 1975년 및 2002년에 대하여 1km×1km 격자간격으로 지표면 상태를 수변지역, 혼합림지역, 밭, 논, 도시화지역 등 5개 종류로 분류하였다.

Fig. 2에 약 40년간 대구지역의 장기적인 토지이용도 변화를 제시하였다. 1963년과 1975년에 비하여 2002년에 인공구조물로 피복된 도시영역의 현저한 확장을 확인할 수 있다. 그리고 농경지의 확대도 확인할 수 있었는데, 이는 1995년 달성군 전역이 대구광역시로 편입된 결과로 판단된다.

대구지역 토지이용도의 항목별 변화는 Table 3에 제시하였다. 1963년도에서 2002년의 40년간의 토지이용도의 변화는 인공구조물이 차지하는 면적이 1963년도의 2.0%에서 2002년도에는 10%로 증가하였는데, 이는 대구의 급속한 도시화를 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다. 혼합림 지역이 차지하는 면적은 1963년과 1975년도에는 약 64%로 나타났으나, 2002년도에는 59%로 감소하였다. 경작지역은 2002년도에 12.1%로 나타나 1963년도에 비하여 7배 이상 증가하였는데, 이는 1995년 달성군 전역이 대구광역시로 편입된 결과에 기인한다. 격자의 수로 비교해 보면, 경작지가 차지하는 수는 1963년도에 34개에서 2002년도에 257개로 증가하였고, 인공구조물로 포장된 도시화 지역은 100개에서 502개로 증가하였다.

그리고 1963년도를 기준으로 하여 그때의 값을 100%로 하면, 혼합림 지역은 1975년에 99.7%, 2002년에 92.8%로 감소하였고, 수변지역과 수경지역도 1963년에 비하여 감소하였다. 반면에 혼합경작지(밭)와 도시화지역은 1963년에 비하여 2002년에 각각 7.5배와 약 5.5배 증가한 것으로 나타났다.

전체적으로 봤을 때, 혼합림과 수경지 지역이 감

Table 3. Land-use alteration during recent 40 years in Daegu(%)

	1963	1975	2002
lakes, river, streams	2.8 (59) 100	2.5 (53) 89.8	2.3 (48) 81.4
mixed woodland	63.7 (1348) 100	63.6 (1344) 99.7	59.1 (1251) 92.8
crop/mixed farming	1.6 (34) 100	3.4 (72) 211.8	12.1 (257) 755.9
Irrigated crop	29.9 (633) 100	26.8 (568) 89.7	16.5 (349) 55.1
urban and built up	2.0 (42) 100	3.7 (79) 188	10.0 (211) 502

소하는 반면 혼합경작지와 도시화지역이 크게 증가한 것으로 나타났다.

3.2. 열섬포텐셜의 분포

Fig. 3에 2004년 8월 8일 11경시에 관측된 Landsat TM으로 분석된 대구지역의 지표면온도를 나타내었다. 삼림지대인 앞산과 팔공산의 지표면온도는 22 ~ 24℃의 분포를 보이고 있으며 농경지가 많이 분포해 있는 달성군지역의 지표면온도는 대략 25℃를 나타내었다. 반면에 아스팔트와 콘크리트로 이루어진 대규모 아파트단지가 위치한 달서구와 대규모 산업단지가 위치한 성서공업단지지역의 지표면 온도는 이들 삼림지대나 농경지보다 10℃ 이상 높게 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

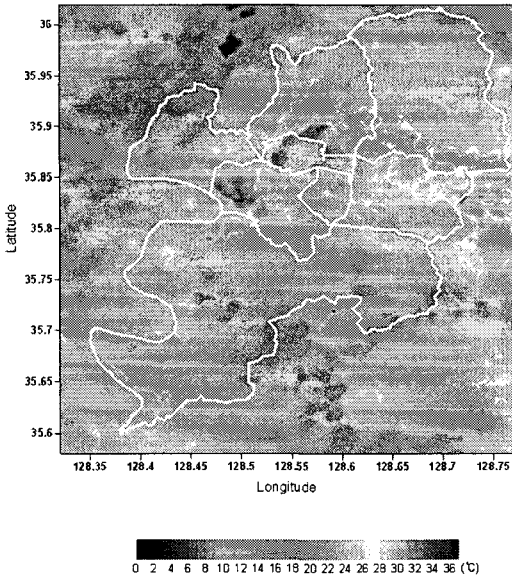


Fig. 3. Distribution of surface temperature estimated by using Landsat TM data at 1100LST on August 8th, 2004.

열섬포텐셜의 계산에 사용된 기온은 2.1절에서 기술한 바와 같이 계산하여 Fig. 4에 제시하였다. 산지, 도심 및 농경지와 수변지의 기온은 각각 31.7, 30.9, 31℃로 평가되었다. 여기서 도원과 칠곡 지점의 평균기온을 이용한 산지지역의 온도가 사대부고와 감삼지역의 도심지 온도보다 높게 관측되었다. 이는 낮 동안에 앞산과 팔공산의 계곡을 따라서 산정을 향해서 부는 곡풍이 인근의 공업단지과 대규모 아파트단지로부터 발생한 열을 운반해 오기 때문으로 사료된다.

Table 4에 위성자료로 얻어진 지표면온도와 주어진 해당 지역 부근에서 얻은 기온자료를 이용하

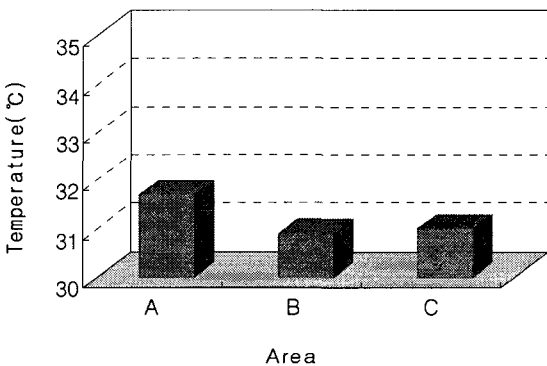


Fig. 4. Temperature of each area.
A: Mountainous, B: urban and built up, C: Agricultural and water side.

Table 4. HIP calculated by using the surface temperature estimated by Landsat TM data and the surface air temperatures observed from the automatic urban weather observation system

Class	Surface temperature (°C)	HIP (°C)
Water	26.5	-4.5
Forest Land	22.5	-9.2
Industrial Land	35	4.1
Commercial Store Land	32.3	1.4
Residential Land	33	2.1
Agricultural Land	24.6	-6.4

여 구한 대구지역의 토지이용도별 열섬포텐셜을 나타내었다. 수변지역과 산림지역, 농경지에서의 열섬포텐셜은 -9.2 ~ -4.5℃의 분포를 보였고, 상업지역과 아파트지역, 공업지역에서는 1.4 ~ 4.1℃의 분포를 나타냈다. 열섬포텐셜 산출에 사용된 Landsat TM 영상이 오전 관측된 자료이기 때문에 상업지역과 아파트지역, 공업지역의 열섬포텐셜의 값이 전반적으로 낮게 산출되었으며, 이중 공업지역과 가장 낮게 산출된 산림지역의 경우 13.3℃의 차를 나타내어 인공구조물로 포장된 지역에서 도시열섬을 유발할 가능성이 훨씬 높음을 확인할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

도시화의 진척에 따라서 다양한 요인에 의해 도시열섬현상이 심화되어 가고 있지만 동계에는 인공열의 영향, 하계에는 인공구조물에 의한 열저장 효과가 가장 큰 기여를 하는 것으로 알려져 있다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 자연환경이 인공구조물로 변해감으로써 도시열섬이 얼마나 심화될 수 있는지를 포텐셜을 평가하여 보았다. 우선 대구지역의 장기적 토지이용도변화를 조사하고 이어서 지표면온도와 기온자료를 이용해서 열섬포텐셜을 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1) 지난 40여 년(1963-2003) 동안에 대구지역의 포장된 도시면적(도로와 건축물)은 5배 이상 증가하였다. 이처럼 단기간에 도시의 포장면적이 빠르게 증가한 것은 다른 나라에서는 유례를 찾아보기 어려운 우리나라 독특한 현상으로 판단된다. 이러한 과정을 통해서 도시열섬현상이 심화되었을 것이라는 것을 추정할 수 있었다.

2) 토지이용도에 따른 열섬포텐셜(HIP)의 평가를

통해서 지표면 피복 상태에 따라서 그 값이 현저히 다음을 알 수 있었다. 예로서 연구 사례일에 대해서 포장된 도시화지역의 열섬포텐셜은 녹지지역과 농경지역에 비하여 약 10.3℃나 높게 나타났다. 이는 토지이용도에 따른 태양복사에너지의 흡수율과 현열에너지로의 전환비율의 차이 및 열전도도의 차이에 크게 의존한다.

여름철 도시열섬현상은 인공구조물의 확대에 따라서 지표면온도가 높게 형성되는 것에 주로 기인한다⁵⁾. 포장된 도시의 표면 온도는 여름철 한낮에 55℃ 이상에 달하는 곳도 있다. 야간에도 한낮에 일사가 닿았던 아스팔트나 콘크리트 건축물 표면은 40℃ 가까운 온도가 유지되기도 한다¹⁸⁾.

최근에 온실기체 증가에 따른 지구온난화가 전 지구적 문제로 부상하고 있다. 그런데 대도시의 기온상승율은 지구온난화 속도보다도 훨씬 큰 것으로 알려져 있다¹⁴⁾. 온실기체 배출억제를 통한 지구온난화 억제는 전 세계인의 협력으로 해결할 수 있는 문제이다. 그러나 도시열섬화는 환경친화적 도시개발을 적극 추진함으로써 지역 차원에서도 상당부분 억제시킬 수 있는 문제이다. 실제로 미국, 일본, 독일 등의 선진 국가에서는 지구온난화에 대한 적응전략의 하나로 도시열섬화 억제대책을 적극 추진하고 있다¹⁹⁾.

본 연구의 결과는 도시의 토지이용도에 따른 기온상승효과를 평가하는 데에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후 시간해상도가 훨씬 높은 위성자료를 이용하여 토지이용도에 따른 지표면온도의 일교차 특성 및 그것에 따른 현열방출량의 차이를 평가하는 연구를 수행하고자 한다. 이를 통해서 독일과 일본에서 오래전부터 환경친화적 도시계획에 활용하고 있는 도시기후기능지도를 제작할 예정이다. 그리고 이번 연구에서 수행하지 못한 토지이용도별 도시열섬포텐셜의 시간변화도 제시할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 ROI-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 감사를 드립니다.

참고 문헌

1) Hoyano, A., 1994, 都市の熱を斬る, 日本建築雑誌, 109, 12-13.
 2) Oke, T. R., 1973, City size and the urban heat island, Atmos. Environ., 7, 769-779.

3) Sugawara, H. and J. Kondo, 1995, Sensitivity test of urban surface temperature, Tenki, 42, 813-818.
 4) 日本土木研究所, 2004, 水と緑を活用した Heat Island 對策, 都市の熱問題, pp.9-11.
 5) Hamada, T. and T. Mikami, 1994, Cool Island Phenomena in Urban Green Spaces: A Case of Meiji Shrine and Yoyogi Park, Geographical Review of Japan, 67A, 518-529.
 6) Landsberg, L., 1981, The urban climate, Academic Press, New York, 275pp.
 7) Narita, K., T. Mikami, H. Sugawara, T. Honjo, K. Kimura and N. Kuwata, 2004, Cool-island and Cold Air-seeping Phenomena in an Urban Park, Shinjuku Gyoen, Tokyo, Geographical Review of Japan, 77(6), 403-420.
 8) Katzschner L. and G. Kassel, 1988, Urban Redevelopment under Construction of Climatological Aspects, Environmental Meteorology, Kluwer Academic Publishers, 461-472.
 9) Ichinose, T., 2002, Counteractions for Urban Heat Island in Regional Autonomies: Activities in Councils of MoE, Japan, J. of Atmospheric Environment of Japan, 37(6), A71-A84.
 10) Ichinose, T., K. Hanaki and T. Tatsuo, 1994, Analysis on geographical distribution of urban anthropogenic heat based on very precise geographical information, Proceedings of Environmental Engineering Research, 31, 263-273.
 11) Ichinose, T., K. Shimonodozono and K. Hanaki, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmos. Environ., 33, 3897-3909.
 12) Yamashita, S., 1995, Heat Island and Amenity, Study group for climate impact and application Newsletter, 11, 66-73.
 13) 홍정혜, 2000, 도시의 열적 특성과 인공구조물에 의한 바람장 수치모의, 부산대학교 박사학위논문, 167pp.
 14) Mikami, T., 2005, Urban Abnormal Climate of Tokyo, 洋泉社, 95pp.
 15) Chander, G. and B. L. Markham, 2003, Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-calibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on geoscience and remote

- sensing(41), No. 11, November 2003, pp.2674-2677.
- 16) Markham, B. L. and J. L. Baker, 1986, Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Atmospheric Reflectance and At-Satellite Temperature, Laboratory for Terrestrial Physics-NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. 20771, pp.3-7.
- 17) Kuwasaka, H., F. Kimura, H. Hirakuchi and M. Mizutori, 1999, The effects of Land-Use Alteration on the Sea Breeze and Daytime Heat Island in the Tokyo Metropolitan Area, *J. of Meteor. Soc. Japan*, 78(4), 405-420.
- 18) 김해동, 이송옥, 구현숙, 2003, 대규모 주택단지내의 인공구조물에 의한 승온화효과에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 12(7), 705-713.
- 19) Harazawa, H. and H. Nishioka, 2003, Global Warming and Japan(3rd Report of JPCC), *古今書院*, 411pp.